

О РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ КАЛУГИНА НА ОСНОВЕ РАСПОЗНАВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ОБЪЕКТА

Трофимов В.Б., Суродин А.И.

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия

В данной работе рассматривается актуальная прикладная задача построения интеллектуальной системы управления воздушонагревателем Калугина. Для ее решения предложена комбинированная процедура, объединяющая аппарат искусственных нейронных сетей и динамических экспертных систем. Выполнено пересчетное моделирование, позволяющее оценить эффективность созданных алгоритмов.

Ключевые слова: интеллектуальное управление, распознавание образов, база знаний.

In this work we consider urgent application of Kalugin stove control intelligent system design. For its solution we introduce combined procedure which integrates artificial neural networks and dynamic expert systems. We carry out a modeling which allows us to appreciate developed algorithms efficiency.

Keywords: intelligent control, pattern recognition, knowledge base.

В качестве объекта управления рассмотрен новый бесшахтный воздушнонагреватель (ВН) конструкции Калугина.

Исходные данные и условия задачи

1. Концепция управления техническим объектом на основе разделения его движения на две составляющие: программную и возмущенную.

2. Потенциально применимые для ВН структуры системы управления, включая беспоисковые и поисковые системы адаптивного управления, интеллектуальные системы.

3. Известные методы оптимизации режима на базе статической характеристики ВН (Б.Н. Парсункин [1]); управления ВН с помощью моделей его внутренних закономерностей (К.Р. Muske [2]); управления агрегатом с применением экспертной подсистемы диагностики (В.И. Соловьев [3]).

4. Структура нейроэкспертной модели объекта управления (НМОУ):

$$Y_M(t) = \Phi_1(U_{1п}(t), U_{2п}(t), W_K^B(t)) + \Phi_2(\delta U_1(t - T_n), \delta U_2(t - T_n), \delta W_K(t - T_n)) + \delta Y(t); \quad (1)$$

$$U_1(t) = U_{1п}(t) + \delta U_1(t); \quad U_2(t) = U_{2п}(t) + \delta U_2(t); \quad W_K(t) = W_K^B(t) + \delta W_K(t),$$

где $\Phi_1(\cdot)$ – продукционная модель соответствия программных управляющих воздействий $U_{1п}(t)$, $U_{2п}(t)$ и базовых уровней контролируемых

внешних воздействий $W_K^B(t)$ программной составляющей выходного воздействия, накапливаемых и модифицируемых в базе знаний (БЗ); $\Phi_2(\cdot)$ – нейросетевая модель влияния отклонений от программных и базовых уровней входных воздействий на изменение выходного воздействия; $Y_M(t)$ – выходное воздействие модели объекта управления (температура подкупольного пространства); $U_1(t)$, $U_2(t)$ – управляющие воздействия (расход газа, расход воздуха); $\delta U_1(t)$, $\delta U_2(t)$ – регулирующие воздействия; $\delta Y(t)$ – эффект неконтролируемых внешних воздействий; $W_K(t)$ – контролируемое внешнее воздействие (калорийность газа); $\delta W_K^B(t)$ – отклонение от $W_K^B(t)$; T_n – интервал памяти объекта управления.

5. Интегральный критерий оптимальности управления:

$$Q(t) = \gamma_1 Q_1^H(t) + \gamma_2 Q_2^H(t) + \gamma_3 Q_3^H(t); \quad (2)$$

$$Q_j^H(t) = \frac{Q_j(t) - Q_j^{\min}}{Q_j^{\max} - Q_j^{\min}}; \quad Q_1(t) = \int_{t_n}^{t_k} |E_p(t)| dt; \quad Q_2(t) = \int_{t_n}^{t_k} U_1(t) dt; \quad Q_3(t) = \int_{t_n}^{t_k} M_{CO}(t) dt,$$

где $Q_1^H(t)$, $Q_2^H(t)$, $Q_3^H(t)$ – нормированные значения $Q_1(t)$, $Q_2(t)$, $Q_3(t)$; $j = 1, 2, 3$; $Q_1(t)$ – интегральная оценка качества переходного процесса за время нагрева $(t_k - t_n)$; $E_p(t)$ – ошибка реализации программного движения; $Q_2(t)$ – интегральный расход топлива; $Q_3(t)$ – количество угарного газа, выбрасываемого в атмосферу за период нагрева; $M_{CO}(t)$ – концентрация угарного газа в дыме; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – весовые коэффициенты.

6. Ограничения на параметры управления и состояния. *Требуется* на базе названных аналогов и прототипов, включая действующую АСУ, разработать новую систему управления тепловым режимом ВН, минимизирующую интегральный критерий $Q(t)$, удовлетворяющую ограничениям и учитывающую опыт операторов-технологов (газовщиков).

Предлагаемая интеллектуальная система управления тепловым режимом воздухонагревателя

Созданная эвристическим путем структура системы управления тепловым режимом воздухонагревателя Калугина опирается на концепцию программно-возмущенного движения и типопредставительный подход.

Функциональная структура интеллектуальной системы управления ВН состоит из следующих частей (рис. 1).

1. *Подсистема перекидки клапанов.* Подсистема предназначена для перевода ВН с режима «дутье» на режим «нагрев» и обратно, через промежуточный режим «отделение». Переходные режимы осуществляются по соответствующей циклограмме, графику. Каждая циклограмма представлена жесткой последовательностью переключения клапанов воздухонагревателя.

2. *Подсистема регулирования теплового режима.* Нейродвухкальный регулятор температуры состоит из поискового и беспоискового блоков.

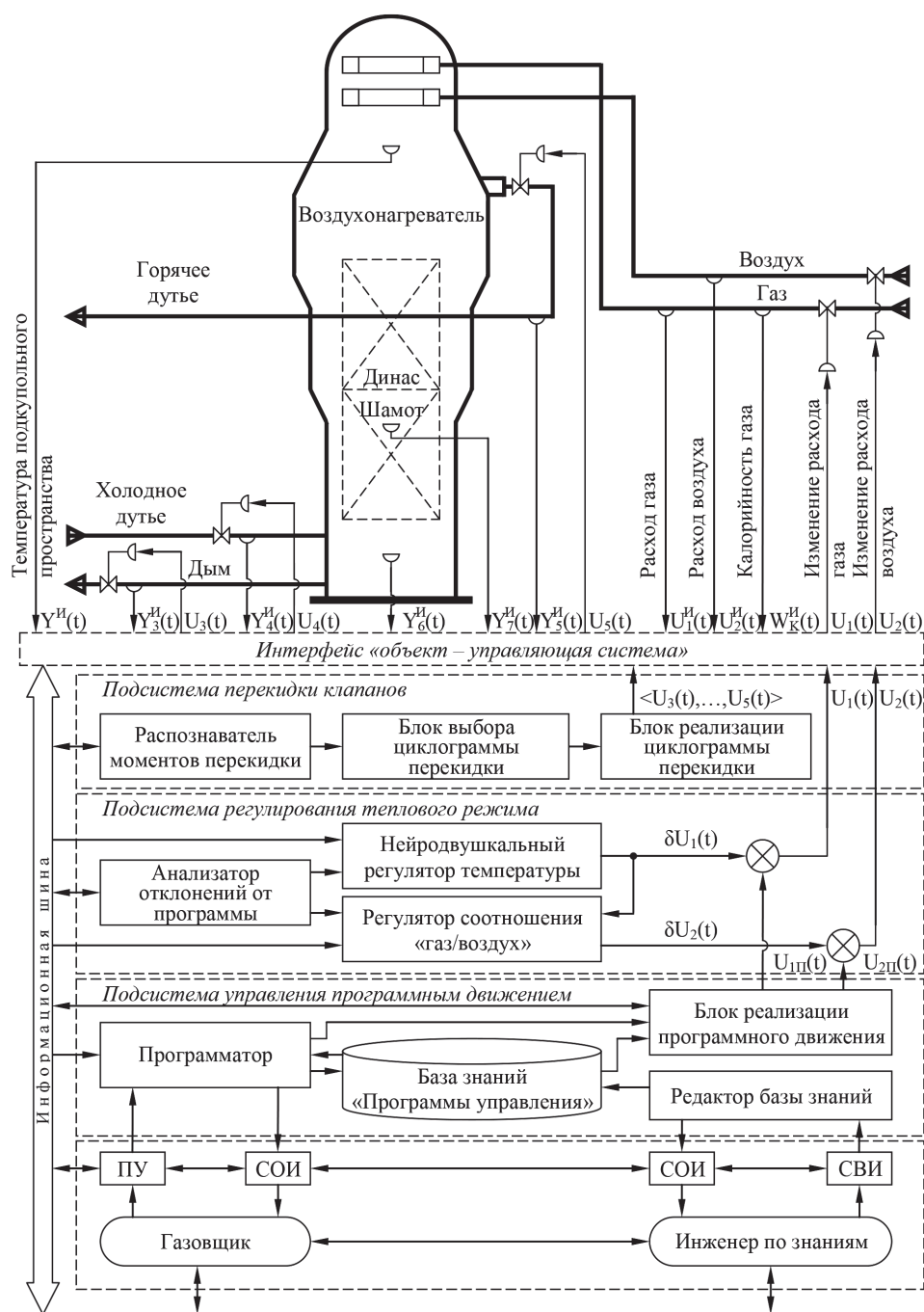


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы управления воздухонагревателем

В поисковой части регулятора оптимальные управляющие воздействия определяются с использованием имитационной НМОУ, с помощью которой осуществляется прогнозирование его выходных воздействий и состояний в ускоренном режиме времени, при переборе возможных вариантов регулирующих воздействий с учетом ограничений. Специфика поисковой части регулятора определяется:

- оптимизацией управления на скользящем промежутке $(t_n, t_n + T_o)$, где T_o – интервал оптимизации, n – номер такта работы системы;
- экстраполяцией контролируемых возмущений и косвенных оценок эффектов неконтролируемых возмущений, приведенных к выходу объекта, определяемых с помощью НМОУ, работающей в реальном времени. В качестве $\hat{O}_2(\cdot)$ НМОУ предлагается использовать многослойный персептрон с униполярной функцией активации сигмоидального типа. Формирование множества возможных вариантов регулирующих воздействий осуществляется с помощью различных алгоритмов обучения в беспоисковой части регулятора температуры.

3. *Подсистема управления программным движением*, состоящая из программатора, БЗ «Программы управления», редактора БЗ, блока реализации программного движения. БЗ содержит упорядоченное множество типовых программных траекторий на режим нагрева $\langle Y_{\text{п}}(t), U_{\text{ип}}(t), U_{\text{2п}}(t) \rangle$ и условий, когда целесообразно их использовать. Типовое производственное правило в БЗ выглядит следующим образом: «Если [«Ситуация в системе» = «№ 1»], то [«Программа управления $\langle Y_{\text{п}}(t), U_{\text{ип}}(t), U_{\text{2п}}(t) \rangle$ » = «№ 1»]». Программатор просматривает существующие данные из рабочей памяти, распознает ситуацию на момент включения режима «нагрев» и выбирает соответствующее правило из базы знаний, а затем отправляет конкретную программу управления в блок реализации программного движения.

Наиболее перспективным инструментарием для моделирования и осуществления сравнительного анализа интеллектуальной системы управления воздушонагревателем является натурно-модельный подход, который предполагает системное объединение рабочих режимов функционирования натурального объекта (воздухонагревателя Калугина), ограниченного эксперимента на нем, а также математического моделирования пересчетного типа.

Для сравнительного анализа алгоритмов управления была использована схема моделирования [4], состоящая из действующей производственной автоматизированной системы управления тепловым режимом воздушонагревателя Калугина с параллельно подключенными к ней прямыми пересчетными моделями и сравниваемыми автоматическими регуляторами. Пересчетные модели «работают» в приращениях к натурным данным и позволяют ответить на вопрос: «Что было бы на выходе объекта управления, если бы вместо натуральных входных воздействий действовали бы другие (модельные) значения входных воздействий?».

Выполнено пересчетное моделирование в режиме «нагрев» ВН. На рис. 2 показана оценка эффективности регулирования.

Пересчетное моделирование показало, что предлагаемый нейродвухкальный регулятор эффективнее типовых в среднем на 10÷20 % по критерию $R_N(t)$ ($R_N(t) = ((\sigma_0(t) - \sigma_N(t))/\sigma_0(t)) \cdot 100 \%$, где $\sigma_0(t)$, $\sigma_N(t)$ – среднеква-

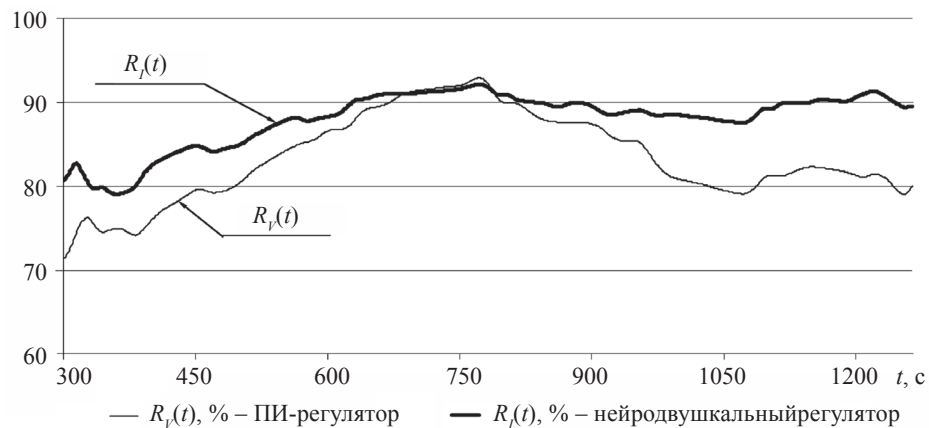


Рис. 2. Диаграммы пересчетного моделирования

двигательная ошибка реализации программного движения при отсутствии регулирования и при использовании N -го варианта автоматического регулятора) за счет использования в нем имитационной нелинейной ситуационной нейроэкспертной модели объекта, ускоренного поиска оптимального варианта управления, учитывающего прогноз контролируемых внешних воздействий и приведенного возмущения. Для оценки адекватности модели объекта управления использовали системный подход, согласно которому, если после замены действующего объекта его моделью свойства системы, ее поведение, характеристики существенным образом не изменяются, то модель может быть признана как адекватная.

Разработана интеллектуальная система автоматического управления тепловым режимом воздухонагревателя Калугина, созданная в рамках концепции программно-возмущенного движения и типопредставительного подхода, включающая экспертную подсистему управления программным движением объекта, которая отличается динамической базой знаний продукционного типа «Программы управления», подсистему нейродинамического регулирования с условным и безусловным прогнозированием, использующую имитационную нейроэкспертную модель объекта управления, работающую в ускоренном режиме времени.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-4068.2015.8.

Список использованных источников

1. Андреев С.М. Оптимизация режима нагрева воздухонагревателей доменных печей / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин // Изв. вузов. Черная металлургия – 2004. – № 7. – С. 33–37.
2. Blast furnace stove control / K.R. Muske and others // American control conference. – Philadelphia: Villanova University, 1998. – С. 24–25.
3. Соловьев В.И. Интеллектуальная автоматизированная система управления металлургическими агрегатами / В.И. Соловьев, Е.А. Павлова, В.А. Краснобаев // Черные металлы. – 2004. – № 7–8. – С. 26–29.
4. Кулаков С.М. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика: монография / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов. – Новокузнецк: СибГИУ, 2009. – 223 с.